



**UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID**

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2017/2018

Nº de proyecto: 255

Título del proyecto: Manual del Profesor como Complemento a la Asignatura  
Laboratorio Integrado de la Titulación Grado en Ingeniería de Materiales

IP: Endzhe Matykina

Facultad de Ciencias Químicas

Departamento de Ingeniería Química y de Materiales

## ÍNDICE

<b>Resumen del proyecto .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Objetivo propuestos en la presentación del proyecto.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos alcanzados .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Metodología empleada en el proyecto.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Recursos Humanos .....</b>	<b>5</b>
<b>5. Desarrollo de actividades .....</b>	<b>6</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>7. Proyectos Futuros .....</b>	<b>10</b>

## Resumen del proyecto

El fin principal de este proyecto es la creación de un *Manual del Profesor* con inclusión de cuestionarios, gráficos, muestras-tipo, etc. La generación de estos recursos didácticos adicionales permitirá al profesorado del Departamento de Ingeniería Química y de Materiales, anteriormente denominado Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, una mejor preparación de las prácticas de la asignatura Laboratorio Integrado de tercer curso del grado Ingeniería de Materiales impartido en la Facultad de Ciencias Físicas.

Actualmente esta asignatura cuenta con un total de 24 prácticas, clasificadas en cuatro bloques, a saber: tratamientos térmicos de aceros, metalografía, corrosión y procesado. En este proyecto se abordarán las prácticas relativas a Anodizado, Niquelado y Cobreado correspondientes al bloque de Procesado de Materiales.

### 1. Objetivo propuestos en la presentación del proyecto

El principal objetivo del proyecto consiste en la elaboración de un *Manual del Profesor* para la asignatura Laboratorio Integrado del Grado en Ingeniería de Materiales. Otras asignaturas del Grado en Ingeniería Química, Grado en Química y el Máster en Ingeniería de Materiales podrían llegar a beneficiarse de este Manual en el caso de introducir nuevas prácticas en sus laboratorios relacionadas con el cobreado, niquelado y anodizado. Todas las anteriores titulaciones son impartidas por el Departamento de Ingeniería Química y de Materiales.

La necesidad de este recurso surge por la demanda por parte del profesorado de una formación para impartir prácticas de calidad. También ayudará a planificar de una manera más precisa las prácticas y permitir al profesor un mayor control sobre posibles variaciones en el desarrollo de las prácticas y reducir el grado de incertidumbre.

En definitiva, los objetivos específicos del proyecto son:

- 1) **Manual del Profesor** en formato de documento escrito que contenga introducción completa, desarrollo e interpretación de resultados de las prácticas **Anodizado, Cobreado y Niquelado** y que permita al nuevo profesorado conocer cómo influyen las variables experimentales en cada práctica.
- 2) **Material de Apoyo al Manual del Profesor** en forma de cuestionarios y ejercicios resueltos, presentaciones, videos, archivos-plantilla, gráficas Excel, etc.
- 3) **Registro Anual** de los resultados de cada grupo de alumnos variando cada año ligeramente las condiciones del proceso hasta completar un registro amplio experimental.
- 4) **Página Web** en la cual se encuentre el Material de Apoyo y el Manual del Profesor disponible únicamente para el PDI y PAS de la UCM y que podrá ser actualizado en sucesivos proyectos de mejora educativa.
- 5) **Perfeccionar** el diseño de cada práctica y **Economización** de recursos (menor volumen de electrolitos, reciclado de los mismos, etc.)

El llevar a término estos objetivos permitirá la subsanación de los siguientes problemas:

- El profesorado del departamento conoce los fundamentos teóricos de las prácticas, pero desconoce la influencia de las distintas variables estudiadas en cada una de ellas. Una de estas variables es el uso de diferentes modelos de fuentes de alimentación, las cuales difieren en el display de control, conexiones eléctricas y montaje.
- La celda electroquímica que se ha venido utilizando en los últimos años no permite obtener recubrimientos homogéneos, ya que únicamente se recubre una de las caras de la muestra con la que se trabaja y además solo permite trabajar con piezas de geometría plana.
- El gasto de material y reactivos en las prácticas de anodizado, cobreado y niquelado ha sido elevado en los últimos años. Especialmente preocupante ha sido la generación de residuos de disoluciones con metales pesados (Ni y Cu).

## 2. Objetivos alcanzados

En el proyecto se han conseguido llevar a cabo los siguientes objetivos propuestos:

- Se ha desarrollado una página web (<http://www.ucm.es/manual-profesor-laboratoriointegrado/>) que contiene el **Manual del Profesor**, dentro del cual hay cuestionarios resueltos, ejercicios modelo, tablas interactivas. Este Manual del profesor también podrá encontrarse en formato físico accesible a los profesores que impartan este laboratorio de la asignatura Laboratorio Integrado.
- Se han conseguido **optimizar las variables** para cada practica (pH, temperatura, tiempo del proceso, etc.) consiguiendo unos recubrimientos más homogéneos.
- En cuanto a los **reactivos**, se ha conseguido también poder volver a reutilizarlos sin perder eficacia en el proceso, generando de esta forma una menor cantidad de estos.
- Con los fondos asignados al proyecto se han comprado los siguientes útiles y materiales:
  - **Fuente de alimentación.**
  - **Dos barras de titanio** como material de soporte de la muestra en la celda electroquímica, para mejorar el contacto y agarre a la muestra.
  - **Dos multímetros**, para medir variables eléctricas durante el transcurso del experimento.
  - Fabricación de **celdas electroquímicas y útiles para enrejillado (ensayos de adherencia)** en el taller mecánico de la UCM (Figura 1).
  - **Chapa de Níquel** para hacer nuevos ánodos.
  - **Un frasco cuentagotas** para realizar ensayos de corrosión.
  - Y **6 cuchillas Stanley FatMax** para realizar ensayos de adherencia.

### 3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología o tareas empleadas en el proyecto que ha permitido lograr los objetivos anteriormente expuestos ha sido la siguiente:

(1). Nuevo diseño de celda electroquímica polivalente

Con la colaboración del taller mecánico y basados en información bibliográfica se ha diseñado un prototipo adaptable a la práctica de anodizado, cobreado y niquelado. Este nuevo prototipo proporciona una mayor versatilidad ya que permite tratar la superficie entera de la muestra aunque la geometría sea variable a diferencia de la anterior celda en la que solo podían tratarse muestras planas de geometría fija.

(2). Optimización del diseño de la nueva celda electroquímica

Se realizaron pruebas preliminares de anodizado, cobreado y niquelado, en base a los resultados obtenidos se modificaron las variables oportunas, como la geometría y las conexiones eléctricas.

(3). Evaluación de variables en el proceso de anodizado

Las variables que fueron estudiadas son tiempo de anodizado, sellado y tiempo de coloreado. Las muestras anodizadas y selladas se ensayaron frente a corrosión bajo la norma ASTM B538. También se utilizaron distintos colorantes (negro y azul) y se registraron los diferentes espesores y variaciones en el voltaje.

(4). Evaluación de variables en el proceso de niquelado

Se estudiaron las variables siguientes: pH, temperatura y tiempo. Los recubrimientos obtenidos se caracterizaron mediante medidas de espesor, porosidad y adherencia. Además, se realizó un análisis químico del contenido en iones de níquel y del nivel de impurezas en el electrolito usado con el fin de reajustar su composición inicial y así minimizar la generación de residuos y el gasto de reactivos.

(5). Evaluación de variables en el proceso de cobreado

Se estudiaron las variables siguientes: pH, temperatura y tiempo. Los recubrimientos obtenidos se caracterizaron mediante medidas de espesor, porosidad y adherencia.

(6). Preparación de cortes transversales de probetas seleccionadas para análisis metalográfico

Se seleccionaron las mejores muestras de cada una de las tres prácticas, se embutieron en resina epoxi y tras su posterior desbaste y pulido fueron incorporadas al material de laboratorio para que los alumnos de años posteriores puedan observar en los microscopios ópticos tanto la morfología característica de estos recubrimientos como poder medir de una manera aproximada su espesor.

(7). Elaboración del Manual del Profesor y de la Página Web

A partir de los datos experimentales obtenidos se ha preparado un *documento* por cada práctica con toda la información relevante y esencial para su correcto desarrollo, el cual contiene:

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Introducción a la practica</li><li>- Tablas de datos</li><li>- Gráficas</li><li>- Fotografías de las probetas ensayadas</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Montajes realizados</li><li>- Cuestionarios resueltos</li><li>- Distintos sistemas de planificación en función del ratio alumnos/profesores</li><li>- Bibliografía relevante</li></ul> |
|---|--|

En la *página web* hay tanto archivos descargables para cada práctica como una sección en la que se irá realizando un registro anual de cada una de las variables estudiadas para cada práctica.

(8). Coordinación y seguimiento del proyecto

Todos los integrantes del proyecto han aportado ideas y sugerencias para mejorar los resultados y el alcance del proyecto. El método empleado ha sido mediante reuniones de seguimiento del proyecto todos los meses.

## 4. Recursos Humanos

El equipo que ha participado en el proyecto tiene una amplia experiencia docente e investigadora en el campo de la electroquímica. Por ello están altamente cualificados para mejorar las prácticas de anodizado, niquelado y cobreado.

Cuenta con un Catedrático (Ángel Pardo Gutiérrez del Cid), dos Profesores Titulares (Jesús Ángel Muñoz, Raúl Arrabal), una Profesora Contratada Doctor (Endzhe Matykina), una Investigadora contratada Doctora (Marta Mohedano), dos Técnicos de Laboratorio (Gerardo Mateo e Isabel Abarca, ambos PAS laboral), un Investigador Predoctoral CAM (Pedro Javier Sánchez), un estudiante de Doctorado (Rubén del Olmo) y una Investigadora Joven (Yanira Llamazares).

**Dra. Endzhe Matykina** (IP del proyecto). Especializada en recubrimientos electroquímicos y con dilatada experiencia docente en asignaturas de “Ciencia de Materiales” y “Materiales Compuestos”. En cursos anteriores ha participado en el diseño de las prácticas del Laboratorio Integrado y en la elaboración del guion de las mismas.

**Dr. Raúl Arrabal**. Tiene amplia experiencia en la obtención de recubrimientos sobre materiales metálicos. Imparte docencia en los Grados de Ingeniería de Materiales y Química. En los últimos años ha participado activamente en la mejora y puesta a punto de las prácticas de laboratorio que forman parte de la asignatura “Laboratorio integrado”, de la que actualmente es el coordinador.

**Dr. Ángel Pardo.** Ex-director del Dpto. de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica, principal impulsor de la mejora en la calidad de las prácticas de laboratorio del departamento, con dilatada experiencia en docencia e investigación relacionada con metalurgia y materiales metálicos. Imparte docencia en el Grado de Ingeniería de Materiales y en el Máster en Ciencia y Tecnología Químicas.

**Dr. Jesús Ángel Muñoz.** Contrastada experiencia en docencia e investigación sobre preparación y obtención de materiales metálicos. Actual subdirector de la Unidad Docente de Ciencia de Materiales e Ingeniería Metalúrgica.

**Dra. Marta Mohedano.** Amplia experiencia en recubrimientos por anodizado. Miembro del comité Young-EFC, iniciativa de la Federación Europea de Corrosión para conectar jóvenes investigadores con profesionales del sector, e investigadora del Programa Retos Jóvenes Investigadores.

**D. Gerardo Mateo.** Diplomado universitario de laboratorio a cargo del mantenimiento de prácticas de laboratorio de varias asignaturas en grados de Ing. de Materiales y Química entre otras. Amplia experiencia en preparación superficial de materiales metálicos.

**Dña. Isabel Abarca.** Encargada del mantenimiento de prácticas de laboratorio de varias asignaturas en los Grados de Ing. de Materiales y Química entre otras. Amplia experiencia en preparación superficial de materiales metálicos.

**D. Pedro Javier Sánchez.** Graduado en Ciencias Químicas con experiencia en la obtención de recubrimientos y su posterior caracterización mediante técnicas microscópicas.

**D. Rubén del Olmo.** Estudiante de doctorado. Experiencia en investigación del anodizado de aleaciones de aluminio.

**Dña. Yanira Llamazares.** Cuenta con experiencia en la obtención y caracterización de recubrimientos.

## **5. Desarrollo de actividades**

Las diferentes actividades del proyecto se han ido desarrollando de acuerdo al cronograma previsto.

La Dr. Endzhe Matykina, IP del proyecto, planificó reuniones mensuales con todos los miembros del mismo para el seguimiento de su ejecución. Toda la información que ha ido generándose por cada miembro del equipo estaba disponible en una carpeta compartida de Google Drive, gracias a la cual todos los integrantes del proyecto tuvieron la oportunidad de aportar nuevas ideas y/o modificaciones.

TAREAS	MESES(Octubre 2017 - Junio 2018)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
(1)												
(2)												
(3)												
(4)												
(5)												
(6)												
(7)												
(8)												

- **Octubre 2017 – Diciembre 2017**

Durante este periodo se llevaron a cabo los siguientes puntos (1), (2), (3), (4) y (8) especificados en el apartado “**3. Metodología empleada en el proyecto**”, es decir, se diseñó un nuevo prototipo de celda electroquímica (1) optimizándose su diseño mediante pruebas preliminares de anodizado, niquelado y cobreado (2). Una vez optimizada se evaluaron las variables de tiempo, sellado y tiempo de coloreado para el tratamiento de anodizado (3) y las variables de pH, temperatura y tiempo para el tratamiento del niquelado, del cual, también se caracterizaron los recubrimientos obtenidos mediante medidas de espesor, que aumenta con el tiempo, porosidad y adherencia (4). Paralelamente a este desarrollo se realizaron tareas de coordinación y seguimiento (8).

Los aspectos más importantes que se produjeron en los puntos anteriores se describen a continuación:

El nuevo diseño de celda electroquímica ha sido el siguiente:

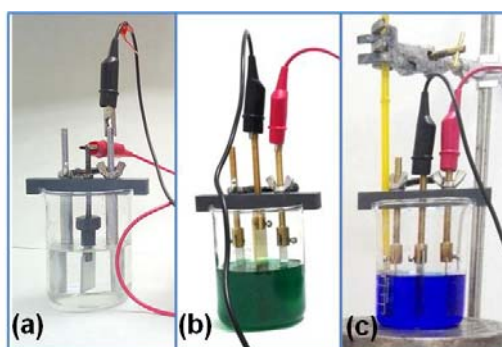


Figura 1. Celdas electroquímicas de: (a) anodizado, (b) niquelado y (c) cobreado.

Tras anodizar las muestras durante un tiempo previamente fijado, se colorearon con dos colorantes distintos (azul y negro) y se sellan en agua a ebullición. Se observa que las muestras anodizadas por un tiempo mínimo de 600 s son las que adquieren un color más definido.



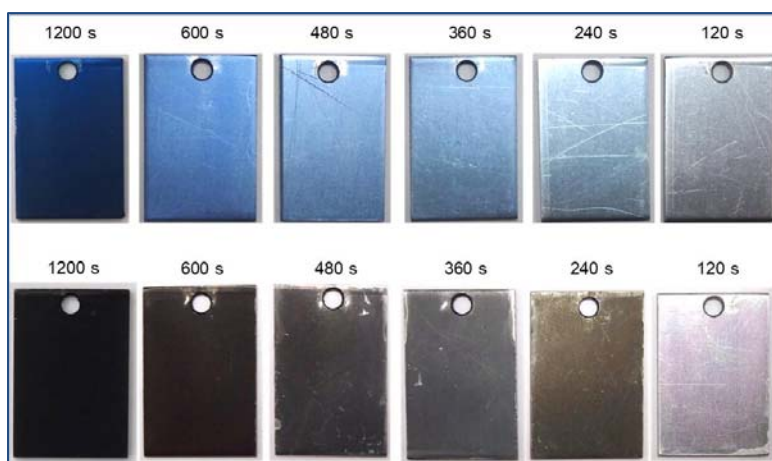


Figura 2. Muestras coloreadas.

En cuanto a la práctica de niquelado se realizó a dos pH distintos (2 y 5), a unos tiempos comprendidos entre 3 y 20 min y a temperatura ambiente. También se desarrolló un método de medida de la corrosión basado en ácido fosfórico evitando así el antiguo método que utilizaba ácido crómico (compuesto altamente tóxico y carcinogénico).

La siguiente tabla-resumen muestra los resultados de porosidad y adherencia para cada uno de los tiempos estudiados:

Grupo	I (A)	$\Lambda$ (cm <sup>2</sup> )	V <sub>final</sub> (V)	pH 2							
				t(min)	m <sub>inicial</sub> (g)	m <sub>final</sub> (g)	m <sub>Ni real</sub> (g)	m <sub>Ni teórico</sub> (g)	% $\eta$	Poros/cm <sup>2</sup>	Adherencia
1	0.45	22.86	1.8	3	33.9725	33.9975	0.025	0.0246	101.46	6.3	5B
2	0.46	22.92	1.8	5	33.9445	33.9854	0.0409	0.0411	99.59	5.9	4B
3	0.45	22.68	1.8	8	33.7073	33.7731	0.0658	0.0657	100.14	3.8	5B
4	0.45	22.76	1.8	15	33.7354	33.8579	0.1225	0.1232	99.43	1.2	5B
5	0.45	22.66	1.8	20	33.9428	34.1063	0.1635	0.1643	99.53	5.3	5B

Grupo	I (A)	$\Lambda$ (cm <sup>2</sup> )	V <sub>final</sub> (V)	pH 5							
				t(min)	m <sub>inicial</sub> (g)	m <sub>final</sub> (g)	m <sub>Ni real</sub> (g)	m <sub>Ni teórico</sub> (g)	% $\eta$	Poros/cm <sup>2</sup>	Adherencia
5	0.45	22.62	1.8	3	33.8028	33.8274	0.0246	0.0246	99.84	0.5	5B
4	0.45	22.57	1.8	5	33.6235	33.6648	0.0413	0.0411	100.57	1.5	5B
3	0.45	22.73	1.8	8	33.5837	33.6497	0.066	0.0657	100.45	1.7	5B
2	0.45	22.69	1.8	15	33.894	34.0192	0.1252	0.1232	101.62	1.8	5B
1	0.46	23.04	1.8	20	33.7093	33.8764	0.1671	0.1679	99.51	5	5B

Tabla 1. Resultados práctica de niquelado

- **Enero 2018 – Junio 2018**

Durante este periodo se continuó con los puntos (5), (6), (7) y (8). Con la celda electroquímica optimizada se desarrolló la práctica de cobreado (5) a dos temperaturas distintas (25 y 50°C) y a tiempos comprendidos entre 3 y 20 min. La experimentación se realizó sin agitación y con una densidad de corriente de 20 mA/cm<sup>2</sup>.

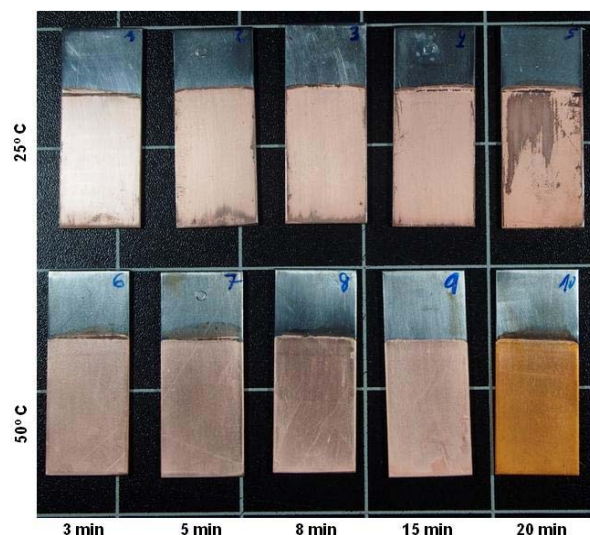


Figura 3. Muestras de acero cobreadas.

De la misma forma que para la práctica de niquelado la siguiente tabla muestra los resultados para la porosidad y adherencia para el cobreado:

Grupo	I	A	V <sub>final</sub>	25°C							
	(A)	(cm <sup>2</sup> )	(V)	t(min)	m <sub>inicial</sub> (g)	m <sub>final</sub> (g)	m <sub>Cu-real</sub> (g)	m <sub>Cu-teórico</sub> (g)	%η	Poros/cm <sup>2</sup>	Adherencia
1	0.29	14.77	2.6	3	11.3811	11.3961	0.015	0.0172	87.27	8	5B
2	0.29	14.68	2.6	5	11.2598	11.2834	0.0236	0.0286	82.38	9	5B
3	0.29	15.06	2.6	8	11.4105	11.4446	0.0341	0.0458	74.40	5	5B
4	0.29	14.99	2.6	15	11.3699	11.4363	0.0664	0.0859	77.26	17	5B
5	0.29	15.07	2.6	20	11.488	11.5635	0.0805	0.1146	70.25	14	5B

Grupo	I	A	V <sub>final</sub>	50°C							
	(A)	(cm <sup>2</sup> )	(V)	t(min)	m <sub>inicial</sub> (g)	m <sub>final</sub> (g)	m <sub>Cu-real</sub> (g)	m <sub>Cu-teórico</sub> (g)	%η	Poros/cm <sup>2</sup>	Adherencia
1	0.29	15.03	1.2	3	11.4401	11.4571	0.017	0.0172	98.91	27	5B
2	0.29	14.97	1.2	5	11.4468	11.4741	0.0273	0.0286	95.30	18	5B
3	0.29	14.94	1.2	8	11.2147	11.2571	0.0424	0.0458	92.51	9	5B
4	0.29	14.86	1.2	15	11.4602	11.5338	0.0736	0.0859	85.64	18	5B
5	0.29	14.92	1.2	20	11.4303	11.5441	0.1138	0.1146	99.31	3	5B

Tabla 2. Resultados práctica de cobreado.

Las muestras más representativas de cada práctica se prepararon para análisis metalográfico para formar parte de la colección de probetas del departamento, en las que los alumnos podrán observar el espesor del recubrimiento y su morfología con el microscopio óptico (6).

Con la recopilación de los datos experimentales obtenidos en cada una de las reuniones realizadas (7, 8) se ha desarrollado una Página Web en la que se encuentran apartados para cada una de las prácticas de la asignatura Laboratorio Integrado.



Figura 4. Portada del Manual del Profesor en la Web de la UCM.

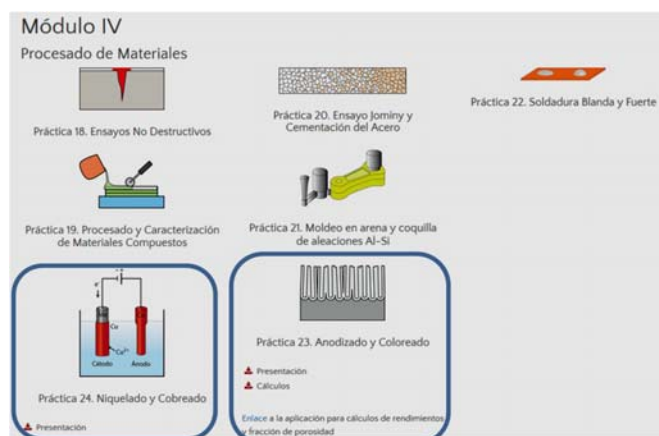


Figura 5. Prácticas de niquelado, cobreado y anodizado.

## 6. ANEXO: Proyectos Futuros

Como se ha podido observar en la página web, esta asignatura cuenta con cuatro módulos temáticos. Al igual que se han mejorado estas prácticas, otras son susceptibles de mejora por lo que el departamento volverá a intentar hacer uso de la ayuda de los Proyectos Innova Docencia en el futuro para ir mejorando o poniendo al día las prácticas que así lo necesiten. Un ejemplo del éxito de este tipo de proyectos es el siguiente: *“Atlas Metalográfico como Recurso Didáctico en el Aprendizaje de Microestructuras de Aleaciones de Interés Tecnológico”*. Número de proyecto 21 (Año 2016/2017). Con tan sólo 1 año de funcionamiento de la web ha recibido más de 3450 visitas, es decir una media de 10 visitas diarias.